



1. FEJEZET

---

# A FIZIKATANÍTÁS ÉS A GONDOLKODÁSFEJLESZTÉS KAPCSOLATA

---

Radnóti Katalin  
Korom Erzsébet

Az utóbbi évtizedekben tapasztalható rendkívül gyors technikai, gazdasági változások eredményeként jelentősen megváltoztak a munkaerőpiac igényei és a társadalom elvárásai az iskolából kikerülő diákok tudását illetően. Felértékelődtek a 21. század készségei, közöttük a problémamegoldás, kommunikáció, együttműködés, kreativitás, az önálló tanulás, valamint a megszerzett tudás hatékony felhasználása. Kiterjedtek a tanulás színterei, változott a tanulás és a tudás fogalmának értelmezése. A természettudományok hazai oktatásában domináló diszciplína-orientált megközelítés alternatívájaként felerősödtek azok a törekvések, amelyek erősíteni igyekeznek a szaktudományok közötti kapcsolatokat és a tudásnak a tantárgyi, iskolai kereteken túlmutató transzferálhatóságát, valamint az ezekhez szükséges készségek, képességek fejlesztését (Csapó, 2004; B. Németh & Korom, 2012; Korom, Molnár & Csapó, 2015).

A PISA 2018-as vizsgálat elméleti kerete a természettudományos műveltséget úgy határozza meg, hogy „az egyénnek az a képessége, amelynek révén gondolkodó/megfontolt állampolgárként képes foglalkozni tudományos kérdésekkel és elképzelésekkel. [...] A természettudományban művelt egyén készséggel vesz részt a tudományról és a technológiáról folytatott értelmes párbeszédekben. Mindez olyan kompetenciákat követel meg tőle, amelyekkel képessé válik jelenségeket tudományosan megmagyarázni, vizsgálatokat megtervezni és értékelni, valamint adatokat és bizonyítékokat tudományosan értelmezni.” (OECD, 2016, idézi Oktatási Hivatal, 2019, p. 28).

Ahogyan ez a definíció is jelzi, a természettudományos műveltség komplex tudásrendszer, létrejöttéhez egy olyan támogató tanulási környezet szükséges, ami lehetővé teszi a szaktárgyi ismeretek mellett a természettudományos gondolkodás és a kutatási készségek fejlődését, a tudomány működéséről és hasznáról való tudás formálódását, a természettudományok iránti pozitív attitűd kialakulását (Korom & Z. Orosz, 2020).

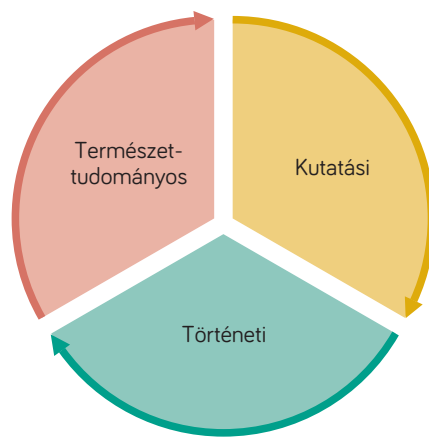
## A FIZIKATANÍTÁS CÉLJAI

A természettudományos műveltség koncepcióját lefordítva a fizikatanításra, elmondható, hogy a cél nem csupán az, hogy a tanulók megismerjék és elsajátítsák a fizika tudománya által létrehozott ismeretanyagot, hanem azt is megértsék, hogyan jutottak a tudósok ezekre a megállapításokra, milyen módszerekkel vizsgálják és értelmezik a körülöttünk lévő világot. A fizikatanítás céljai, feladatai tehát sokrétűek:

- a természet jelenségeinek magyarázatához szükséges alapvető fogalomkészlet kialakítása;
- a természettudományos világkép, szemlélet kialakítása;

- a tudományos megismerési folyamat megmutatása;
- a természettudományos gondolkodás fejlesztése;
- a jelenségekről matematikai módon megfogalmazható modellek alkotása, kvantitatív előrejelzések adása;
- a modern technika fizikai alapjainak megismertetése;
- a fizika eredményeinek felhasználása a mai társadalom kihívásainak (pl. energia-kérdés, közlekedési, környezetvédelmi problémák) megoldásában;
- a fizika és más természettudományok (pl. kémia, biológia, orvostudomány, geológia) közötti kapcsolatok megmutatása;
- a tudományhoz való viszony formálása.

A kötetben szereplő példák, ajánlások összességében minden említett céllal, feladattal kapcsolatba hozhatók, de részletesebben az alapvető fizikai fogalmak kialakításával, valamint a tudományos megismeréssel és a hozzá kapcsolódó gondolkodási folyamatokkal foglalkozunk. Alapvetően háromféle megközelítést emelünk ki a fizikatanításban: a természettudományos, a kutatási és a történeti szemléletet (1. ábra).



1. ábra A fizikatanítás szemlélete

Ebben a fejezetben röviden összefoglaljuk azt az elméleti keretet, amely alapját képezi a további fejezetekben bemutatott feladatok, foglalkozástervek kidolgozásának és a fizikatanításban való felhasználásának. Az áttekintés alapját képezi számos korábbi munka, amelyben részletesen foglalkoztunk a fizikatanítás módszertani kérdéseivel (l. pl. Radnóti, 2014, 2016; Radnóti & Nahalka, 2002; Radnóti & Adorjáné Farkas, 2015), a természettudományok területén zajló kutatásokkal (Korom & Z. Orosz, 2020), a természettudományi tudás összetevőivel és azok diagnosztikus értékelésével (Csapó & Szabó, 2012; Csapó, Korom, & Molnár, 2015; Nagy, Korom, Pásztor, Veres, & B. Németh, 2015; Korom & Nagy, 2016a, 2016b). A kötet közvetlen előzménye az *Óráról órára* című, tanárjelöltek, tanárok számára készült segédanyag (Radnóti, 2017), amely komplett óraleírásokat és óraelemzéseket tartalmaz.

## A SZAKTÁRGYI TUDÁS FEJLESZTÉSE, AZ ALAPVETŐ FOGALOMKÉSZLET KIALAKÍTÁSA

---

A tanulást napjainkban a konstruktivista tanuláselmélet keretei között értelmezzük, melynek legfontosabb kiindulópontja, hogy a tudást a tanuló aktívan hozza létre, saját maga konstruálja meg, és nem pusztán passzívan befogadja. Az új tudományos ismeretet a tanuló a tanulás során a már meglévő ismeretrendszerébe integrálja, ezért az előzetes ismeretek döntő fontosságúak, mivel segíteni és gátolni is tudják az új tudás elsajátítását. A tudáskonstrukciós folyamat eredményeként sajátos, egyéni tudás jön létre. Ez azonban nem jelenti azt, hogy a tanulás csak egyedül mehet végbe. A társas tanulás, az egyéni gondolatok megvitatása, összevetése rendkívül hasznos lehet az egyén tanulása szempontjából (Korom & Szabó, 2012).

A tudományos fogalmak megtanulása hosszú, akár évekig tartó differenciálódási folyamat eredménye. Különösen nehezen különülnek el az ún. dinamikus fogalomrendszerek, mint például a mozgás leírásához használt fogalmak, az erő, a gyorsaság (nehezen differenciálódik sebességre és gyorsulásra), a nyomás, továbbá a hő, a hőmérséklet, az energia. A diákok gyakran keverik az extenzív (a folyamatok során összeadódó) és az intenzív (kiegyenlítő) fizikai mennyiségeket, illetve a kiegyenlítőket is összeadódóként kezelik (Nahalka, 2002a, 2002b, 2014). Emellett gyakori, hogy olyan elképzelésekkel rendelkeznek, melyek nem felelnek meg a jelenleg elfogadott tudományos nézeteknek. Ezeket az elképzeléseket a kutatók kezdetben tévképzeteknek nevezték, de később inkább a gyermektudomány vagy a naiv elképzelés kifejezéseket használták, és azt emelték ki, hogy a gyerekek fogalmai, elképzelései mások, mint a felnőtteké. A tévképzetek kutatása az 1980-as években kezdődött az angolszász területen (l. pl. Driver, 1983), de később hazánkban is számos vizsgálat zajlott (Nahalka, 2002; Korom 2005; Radnóti & Pipek 2009; Nagy-Cirok & Horváth, 2019).

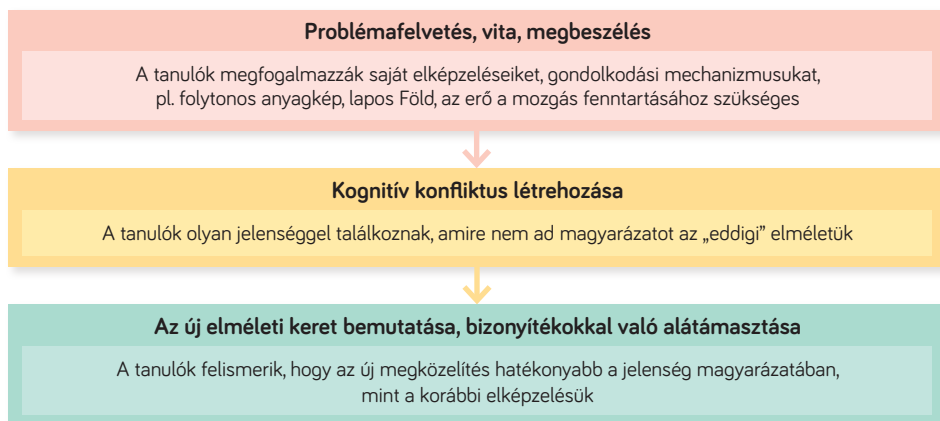
A tévképzetek megszüntetése, feloldása nem egyszerű folyamat, hiszen gyakran ellenállnak a hagyományos oktatásnak. A tudományos ismeret elfogadásához, megértéséhez számos esetben a meglévő, főként a tapasztalatokon alapuló fogalmi rendszer átrendeződése, megváltozása szükséges. A fogalmi váltást számos oktatási módszer elősegítheti. Ilyen például az előzetes tudás feltárása egy-egy új téma feldolgozása előtt irányított tanári kérdésekkel osztályszinten vagy csoportmunkában végzett feladatokkal, vitával stb. A cél, hogy a tanulók elgondolkodjanak egy-egy problémán, megfogalmazzák maguknak és a társaiknak, hogy mit értenek az egyes fogalmak alatt, hogyan magyaráznak egy adott jelenséget. Az előzetes tudás aktiválásának, a különböző elképzelések felszínre hozásának, valamint a tévképzetek átalakításának, feloldásának rendkívül hasznos módja lehet a kutatásalapú tanulás. Ennek részeként hipotéziseket kérünk a tanulóktól egy-egy jelen-

ség vizsgálatára, majd a saját megfigyeléseik, vizsgálataik eredményeit elemezve szembesülhetnek azzal, hogy nem igazolható, amit eredetileg feltételeztek. Konkrét bizonyítékaik lesznek, ami többet ér, mintha a tanár azt mondaná, hogy nem helyes, amit gondolnak (Glaserfeld, 1995; Nahalka, 2002a; Korom, 2005).

Mindezek elősegítik a saját ismeretek és gondolkodási folyamatok tudatosulását, a metafoglami tudatosságot, segítenek felismerni, hogy ugyanarról a témáról mások mást gondolhatnak. Hatásos lehet a kognitív konfliktus keltése is, amikor a tanulóknak olyan jelenséget mutatunk, amit nem tudnak a meglévő „elméletük” alapján megmagyarázni. Ez konfliktust, feszültséget idézhet elő bennük, aminek feloldására olyan elméletet, magyarázó keretet kell mutatnunk számukra, amellyel azok a jelenségek is megmagyarázhatók, amelyek az eredeti elképzeléseikkel nem (2. ábra).

Például a mozgásokat a tanulók a hétköznapi tapasztalataikra alapozva az arisztotelészi fizikát követve magyarázzák, ezért nagy valószínűséggel a tanórán bemutatott vagy elvégzett kísérleteket is ebben az elméleti keretben fogják értelmezni. A tanár feladata, hogy megmutassa diákjainak a newtoni fizika mint alternatív elmélet szélesebb magyarázó erejét, és elérje diákjainál a fogalmi váltást, az arisztotelészi helyett a newtoni mozgásszemlélet alkalmazását. A kötetben bemutatott foglalkozásterveknél többször fogunk utalni a fogalmi váltás ezen lehetőségeire.

A fogalmi váltás elősegíthető úgy is, ha tudománytörténeti példákat mutatunk a diákoknak. Számos tanulói tévképzet ugyanis összefüggésbe hozható a tudománytörténetből ismert megközelítésekkel (pl. a folytonos anyagkép; az áramerősség és a feszültség fogalmak keverése, illetve azok differenciálatlan volta; a hő és hőmérséklet fogalmak keverése, illetve azok differenciálatlan volta; az erő, energia, impulzus, teljesítmény fogalmak keverése, illetve azok differenciálatlan volta stb.). A fizi-



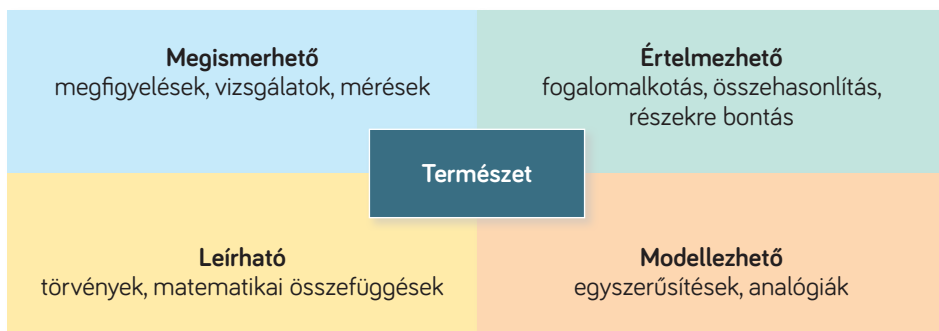
2. ábra A fogalmi váltás folyamata a kognitív konfliktus hatására

katanulás során a diákok is hasonló gondolkodási folyamaton mennek keresztül, ahogy az a tudomány történetében is végbement (pl. az arisztotelészi mozgásszemlélet newtonivá alakulása, illetve az anyagok szerkezetéről alkotott kép változása, az anyag folytonos képének felváltása a részecskeképpel). A kötetben gyakran kerülnek elő olyan tudománytörténeti vonatkozások, amelyek beépíthetők a tananyag feldolgozásába, és jól használhatók a tanulók szemléletének formálásához.

## TERMÉSZETTUDOMÁNYOS SZEMLÉLET

A fizikatanítás fontos célja, hogy a tanulók megismerkedjenek a fizika mint tudomány logikájával, megismerési, kutatási módszereivel; formálódjon a természettudományos világképük, szemléletük (3. ábra). Kialakuljon bennük az a szemléletmód, hogy a természet megismerhető, a természetben előforduló jelenségek törvényekkel leírhatók, és ehhez a leíráshoz a matematika jelrendszerét alkalmazzuk. A világot megfigyelések, vizsgálatok, mérések során ismerjük meg. A jelenségek értelmezéséhez fogalmakat konstruálunk, a fizikai mennyiségekhez számértékeket is rendelünk, melyek révén összehasonlításokat tehetünk. A jelenségeket úgy tudjuk megmagyarázni, hogy alapvetőbb jelenségekre vezetjük vissza azokat (Radnóti, 2016, 2017).

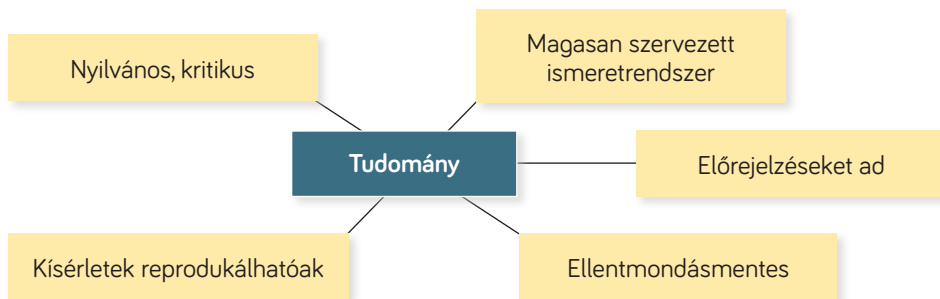
A világ megismerésében az elmélet és az empiria szerves egységet alkot. A meglévő ismeretek alapján *hipotéziseket alkotunk* a dolgok lehetséges működéséről, a megfigyelt jelenségek létrejöttének okairól, és ezek beválását *megfigyelésekkel és kísérletekkel vizsgáljuk*. A természet leírásához, megismeréséhez *egyszerűsítő feltételeket vezetünk be*, analógiákat és *modelleket használunk*, a sokaság leírásához *statisztikai, valószínűségi módszereket alkalmazunk*. A technikai fejlődés eredményeként számos új vizsgálati és adatelemzési módszer jelent meg, *kitágítva a vizsgálható jelenségek körét*. A számítógépes szimuláció új lehetőségeket nyitott meg a modellalkotásban és a modellek tesztelésében (Radnóti, 2016, 2017).



3. ábra A természettudományos szemlélet jellemzői

## A TUDOMÁNYOS MEGISMERÉS

A fizikaórán a diákok számos témakörnél találkozhatnak a természet megismerésének történeti lépéseivel, eseményeivel, alkalmazott módszereivel. Példákat látnak a tudományos megismerés, kutatás folyamatára, sőt ők maguk is végezhetnek méréseket, vizsgálatokat. Fontos, hogy mindezek közben gyarapodjon a tudományos módszerekről és a tudomány kritériumairól való tudásuk (4. ábra). Ismerjék például azt, hogy a tudomány bizonyos mértékig magasan szervezett ismeretrendszert jelöl. Az alapelemeknek, axiómáknak tekintett állításokból előre jelezhető megfigyelhető jelenségek. A tudományos ismeretrendszernek heurisztikus ereje van, új jelenségeket tud „megjósolni”, illetve különböző megfigyelésekre, kísérleteknek az elvégzésére tesz javaslatot. Fontos eleme az ellentmondás-mentesség igénye, továbbá a kísérleti adatok reprodukálhatósága, illetve a tudomány nyilvános és kritikus voltának bemutatása (Radnóti & Wagner, 1999; Radnóti, 2002).



4. ábra A tudományosság kritériumai

## A TUDOMÁNYOS MEGISMERÉSI MÓDSZER KIALAKULÁSA

Az ókori görögök előtti kultúrák képviselői tudásukat elsősorban konkrét problémák megértésére és kezelésére használható empirikus szabályokba foglalták. A görögök viszont a konkrét ismeretekből, azokon mintegy túllépve valamiféle általánosított tudás létrehozására törekedtek. A különböző tapasztalatokhoz tartozó egyes ismereteket nem pusztán a konkrét feladatok megoldásában alkalmazták, hanem összehasonlítva, egymáshoz kapcsolva valamilyen összefüggő, észszerű rendszert építettek ki (Ropolyi & Szegedi, 2000). Gondoljunk például a geometriára. A természet megismerése vonatkozásában általában a szemlélődés volt a görögökre jellemző, bár voltak kivételek. A földközéppontú elképzelés leírásáról méltán híres PTOLEMAIOSZ (Ptolemais Hermiou, 85/90 körül – Alexandria, 168 körül, görögül író, Egyiptomban élő, római polgár matematikus, csillagász, geográfus, asztrológus és költő.) az i. sz. második században méréseket is végzett a bolygók helyének

meghatározásához, de a fénytöréssel kapcsolatos optikai mérései is fontosak, melyek feldolgozható példaként szerepelnek a kötet 2. fejezetében.

A tudományos megismerési módszer további fejlődésében jelentős szerepet játszottak a muszlim tudósok, akiknek egyik jelentős képviselője volt IBN AL-HAYTHAM, (latinosan ALHAZEN, Basra, Irak, 965 – Kairó, Egyiptom, 1039). Munkássága forrásként szolgált az európai reneszánsz tudósnemzedék (pl. KEPLER és GALILEI) számára. ALHAZEN elsősorban optikai vizsgálatait során fejlesztette tovább a görögök nyomán kialakult tudományos vizsgálódási módszert (Radnóti, 2016). Nem egyszerűen csak szemlélődött, majd elmélkedett a dolgokról, hanem tudatos, tervszerű kísérleteket végzett. Hipotéziseket alkotott, mielőtt módosította kísérleti berendezését, majd az eredmények alapján vizsgálódott tovább. A kísérletei során megfigyelt jelenségeket rendszeresen összehasonlította az elméleti alapvetésekkel. Szinte már a mai tudományos kutatási módszertant követve alkalmazta a megfigyelés, kérdésfeltevés, hipotézisalkotás, kísérlettervezés, kísérlet az elmélet ellenőrzésére, a kísérletek megismételhetősége, elméleti értelmezés algoritmust. Gyakorlati problémákat oldott meg a lényegében a görögök által megalkotott elméleti matematikai rendszer segítségével. A matematikai rendszer itt a geometria volt, ezen belül a háromszögek tanulmányozása és a korszak új tudományos teljesítményét jelentő szögfüggvények nagy pontosságú táblázatai. Vagyis ebben a korban már tudták, hogy az elméleti matematikai ismeretek felhasználásával új tudáshoz lehet jutni a természetről. A természet megismeréséhez tehát különböző méréseket kell elvégezni, és azt követően további információra lehet következtetni a kapott adatokkal végrehajtott tervszerű matematikai műveletek segítségével.

GALILEI (Pisa, 1564 – Arcetri, 1642) volt az, aki első ízben beszélt a *mellékes hatások elhanyagolásának* szükségességéről. Elképzelte, hogy milyen lehet az úgynevezett „ideális” eset. Ő volt az, aki ezzel bevezette a *modellalkotást* a természettudományos jelenségek leírásához, amely kiemeli a lényeges elemeket és a többit elhanyagolja, egyszerűsít, és ezzel a jelenséget hozzáférhetővé teszi a matematikai tárgyalás számára (Radnóti, 2009). Mindez döntő jelentőségű volt a későbbi fejlődés szempontjából. GALILEI szavaival:



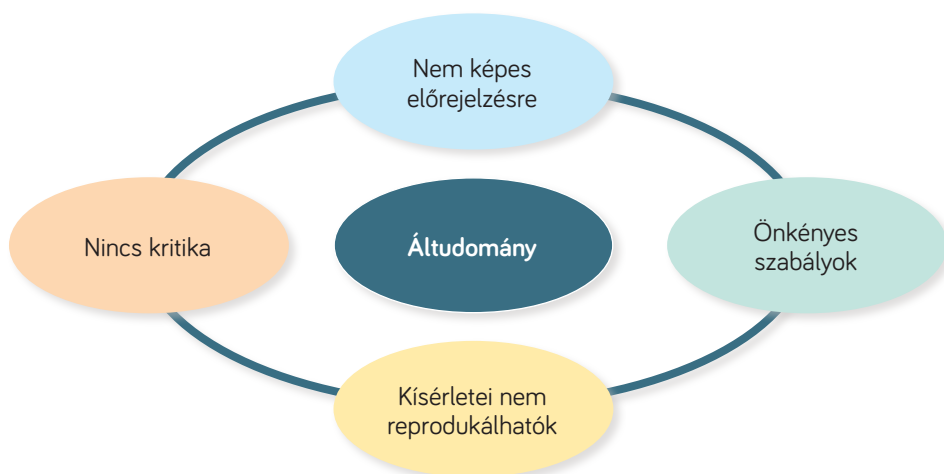
„Minthogy a súly, sebesség és az alak végtelen sokféleképp változhat, ezeket a jelenségeket nem tudjuk szigorú törvényekbe foglalni, ha tehát mégis tudóshoz méltóan akarjuk tárgyalni anyagunkat, el kell vonatkoztatni tőlük, majd miután felismertük és bebizonyítottuk az összes zavaró körülménytől elvonatkoztatott tulajdonságokat, a mindennapi tapasztalat megtanít, hogy törvényeink milyen korlátozások mellett érvényesek a gyakorlatban.” (Galilei, 1638/1986, p. 284)



Napjainkban már természetes módon alkalmazzuk ezt a módszert. A fizika sok modelljét használjuk (pl. pontszerű test, merev test, nyújthatatlan fonál, súrlódásmentes mozgás, ideális gáz stb.). A pontosabb leírás esetében pedig különböző kiegészítéseket alkalmazunk, mint például az ideális gáz állapotegyenlete helyett a van der Waals egyenlet stb. Napjainkban ez kiegészül a különböző számítógépes szimulációs programokkal (Radnóti & Adorjánné Farkas, 2013).

## A TUDOMÁNY ÉS AZ ÁLTUDOMÁNY KÖZÖTTI KÜLÖNBBSÉG

A tudományos kutatás jellemzőinek megismertetése lehetővé teszi, hogy felkészítsük a diákokat arra, hogy kritikus módon szemléljék a világot, meg tudják különböztetni a megbízható és az áltudományos kutatásokat. Az áltudomány számos dologban különbözik a tudománytól (5. ábra). Nem képes például az előrejelzésre, általában önkényesen állít fel szabályokat, kísérleti adatai nem reprodukálhatók, nem enged teret a kritikai megközelítésnek (Radnóti, 2002).



5. ábra Az áltudomány jellemzői

Napjainkban számtalan, a legkülönbözőbb témákról szóló kutatással kapcsolatos hír lát napvilágot, az áltudományos nézetek hatása világszerte nő. Azoknak az ismeretterjesztő filmeknek egy része is ilyen, amelyek például asztrológiával, ufókkal, világvégi jóslatokkal foglalkoznak. Sokszor egy-egy termék reklámozásakor a fejlesztést kutatási folyamat eredményeként állítják be. Ezeket kritikával kell kezelni! El kell tudni dönteni, hogy az megbízható kutatás lehetett-e. A kritikai gondolkodást, az információk értékelését fizikaórán, a fizikához kapcsolódó témák esetében is fontos fejleszteni. Célszerű megvizsgálni a tudományosság kritériumait, kérdéseket megfogalmazni a kutatással kapcsolatban. Például:

- Honnan származik a hír (melyik országból, milyen szervezettől)? Mi az információ forrása?
- Ha idéz valakit az újságíró/a hír közlője, kitől származik az idézet (pl. tudóstól vagy politikustól)? Hol él az illető?
- Az idézett tudós mennyire vett részt a kutatásban? Például más munkáját elemzi, vagy a sajátját?
- A tudós egyedül dolgozott vagy csoportban?
- Meg lehet-e állapítani az újságcikkből/hírből, hogy ki támogatta a kutatást? Ha nem, akkor mi lehet ennek az oka?
- A tudományos cikket szakértők által lektorált folyóiratban publikálták-e? Ha igen, melyikben? Mit gondolnak a diákok arról, hogy fontos-e ez a tény? Miért igen, vagy miért nem?
- Milyen kérdésekre kereste a kutatás a választ?
- Mik voltak a kutatás kiinduló hipotézisei?
- Milyen vizsgálatot/méréseket végeztek el a kutatók? Mit mivel hasonlítottak össze?
- Mekkora volt a minta?
- Hogyan dolgozták fel az adatokat?
- Milyen ellenőrző vizsgálatokat végeztek?
- Megismételte-e más a vizsgálatokat, és azonos eredményeket kapott-e?

Az információk értékelését is gyakorolhatják a diákok a például a következő kérdések segítségével:

- Hallottak-e már erről a témáról a cikk elolvasása előtt is? Ha igen, találnak-e a cikkben új információkat? Mi a teendő, ha a cikkben talált információk nem egyeznek az előzetes tudásukkal vagy elképzelésükkel?
- Próbálják megtalálni az eredeti információforrást, és ellenőrizték a részleteket!
- Találtak-e valamilyen hibát a hírben? Ha igen, melyet (hibás információt, hibás magyarázatot vagy valamilyen egyéb tévedést)? Hogyan írnák újra ezt a részt, hogy kijavítsák a hibát?

## TÖRTÉNETI SZEMLÉLET

Az oktatás során be kell mutatni azt is, hogy hogyan jutottunk el ahhoz a tudáshoz, amit jelenleg tanítunk, nem elegendő csupán a végeredmények ismertetése (Bernal, 1977; Hobson, 1998). A reális tudománykép kialakítása érdekében fontos annak érzékeltetése, hogy a tudomány változó rendszer. Erre kiváló lehetőség

a tananyag feldolgozása történeti szemléletben, helyenként eredeti idézetek felhasználásával. Ezzel a módszerrel bemutatható például egy-egy alapvető fizikai fogalom fejlődése a tudomány története során. Erre az egyik legismertebb példa a mozgásról alkotott kép változása az arisztotelészi szemléletből newtonivá, de az atommodell fejlődése is nagyon jól tanítható tudománytörténeti megközelítésben. Meg lehet mutatni, hogy milyen új felfedezés tette szükségessé a modell továbbfejlesztését, hogyan fejlődött a modell, és meddig volt jól alkalmazható.

A fizikai ismeretek alakulásának, változásának nyomon követése a tudomány működése, az egymást követő elképzelések bemutatása miatt is fontos, de további hozadéka, hogy elősegítheti a tanulók fogalmi fejlődését, fogalmi váltását is, hiszen nem egy esetben a diákok tudásrendszerében is hasonló fejlődési folyamatoknak kell végbe menni. Láthatják, hogy egy hosszú ideig létező elméletet megcáfolnak az újabb felfedezések, és tapasztalhatják azt is, hogy a tévedések természetes velejárói a világ megismerésének.

## A GONDOLKODÁSFEJLESZTÉS LEHETŐSÉGEI A FIZIKA TANTÁRGYBAN

A fizika tanítása kitűnő lehetőséget biztosít a gondolkodásfejlesztésre. Már az alapfogalmak megértéséhez, alkalmazásához, az összefüggések felismeréséhez is fejlett gondolkodási képességek szükségesek. Továbbá, ha a tananyagot olyan módszerekkel dolgozzuk fel, melyben a diákok saját kutatási tevékenységeket is végezhetnek, akkor fejleszthetjük többek között a kérdésfeltevést, a hipotézisek generálását, tesztelését, felülvizsgálatát, illetve a reflexiót (Zimmerman, 2007). Mindez rendkívül hasznos, hiszen a természettudományok tanulása során elsajátított ismeretek, képességek és készségek más területeken is alkalmazhatók, illetve kihatnak az általános gondolkodási képességek fejlődésére is (Adey & Csapó, 2012).

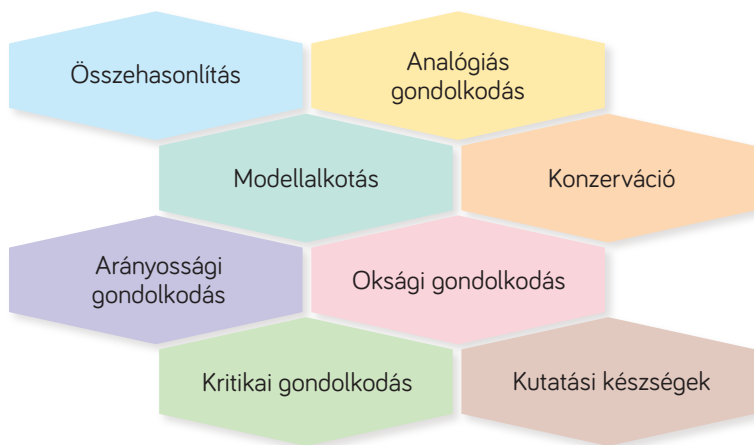
A gondolkodási képességek komplexitásuk és a természettudományos oktatáshoz való viszonyuk alapján három csoportja oszthatók (Johnson-Laird, 2006): (1) alacsonyabb rendű gondolkodási képességek, (2) magasabb rendű gondolkodási folyamatok és (3) a természettudományos gondolkodás. Ezek a csoportok összefüggnek egymással, az egyszerűbb készségek, képességek képezik az alapját a magasabb rendű gondolkodási folyamatoknak.

### ALACSONYABB ÉS MAGASABB RENDŰ GONDOLKODÁSI KÉPESSÉGEK

Az alacsonyabb rendű gondolkodási képességek egyszerűbbek, a műveleti rendszerük, szerkezetük viszonylag könnyen leírható. Ide tartozik például a konzerváció, az összehasonlítás, a sorképzés, az osztályozás, a kombinatív, az arányossági,

a korrelatív és a valószínűségi gondolkodás, a változók elkülönítése és kontrollja. Fejlődésük alakulását elsőként Piaget tanulmányozta. Vizsgálataiban gyakran szerepeltek természettudományos problémák, például az ingakísérlet, amelyben a tanulóknak azonosítaniuk kellett a releváns változókat és azok egymásra gyakorolt hatását (Inhelder & Piaget, 1958).

A fizikatanításban is számos lehetőség adódik a gondolkodási képességek fejlesztésére (6. ábra), amit Radnóti Katalin (2017) munkája alapján foglalunk össze. A *konzerváció* mint gondolkodási művelet az energia és a lendület megmaradásával, illetve a töltésmegmaradással kapcsolatos számításos feladatokban, valamint a jelenségek magyarázataiban jelenik meg. Az általános és középiskolai tananyagban előforduló jelenségeknél a tömeget megmaradó mennyiségnek tekintjük.



6. ábra Fejlesztett gondolkodási készségek, képességek a fizikatanításban

Gyakoriak a fizikában az *összehasonlítást* kérő feladatok. Ezek lehetnek számításos feladatok, de kérhetjük a diákokat arra is, hogy egy feladat megoldása során kapott eredményt vessék össze a tapasztalattal vagy az előzetesen becsült értékkel, hogy reális-e a kapott eredmény. Ellenőrizték, hogy megengedhetők-e a feladat megoldása során a jelenség magyarázatához feltételezett elhanyagolások.

A fizika jó lehetőséget ad az *oksági* kapcsolatok gyakorlására, az ok-okozati összefüggések megmutatására. Lényeges gondolkodásfejlesztő hatásuk van az úgynevezett logikai láncoknak, melyekre több példa is szerepel a 2. és a 3. fejezetben a foglalkozásterveknél. Ilyen például az elektron vagy bármely elemi részecske tömegének meghatározása, de az égitestek tömegének, távolságának meghatározása is. Ezekben az esetekben a mennyiségeket nem tudjuk közvetlenül megmérni. Egyéb mennyiségeket mérünk meg, majd azokból és a felismert törvények ma-

tematikai megfogalmazásával, matematikai átalakítások segítségével számítjuk az előbb említett mennyiségeket. Ide sorolhatók a többlépéses számításhoz feladatok is.

A kvantitatív jelleg, a matematikai eszközök felhasználása a fizikatudomány jellegzetessége. A sokféle számítást igénylő feladatok megoldása során fejlődhet a diákok *arányossági gondolkodása*. Az általános iskolai évfolyamokon csak az egyenes és a fordított arányosság szerepel. A fizikai törvények jelentős része függvénykapcsolat. Fontos a függvények ábrázolása, például a mérési eredmények megjelenítése, azok elemzése, illetve az éppen szükséges adatok kikeresése további elemzésekhez.

A magasabb rendű gondolkodási képességek komplexek, gyakran egyszerűbb gondolkodási képességekből szerveződnek. Ebbe a csoportba sorolható például az analógiás, az induktív, a kritikai gondolkodás, valamint a problémamegoldás és a kreativitás. Az *analógiás gondolkodás* (Nagy, 2006) során a diákok kapcsolatot építenek ki a már ismert és megértett (forrás) és az új (cél) szituációk, struktúrák, kapcsolatok között, hogy az új dolgokat megértsék. Az analógiás gondolkodás alapvető az új tudás megszerzésében, de elengedhetetlen a meglévő tudás transzferálásában, új helyzetben, kontextusban való alkalmazásában is. Az *induktív gondolkodás* hasonlít az analógiás gondolkodásra, egyes megközelítések az analógiás gondolkodást az induktív folyamatok egy alkategóriájának tekintik (Csapó, 2002). Az induktív gondolkodás teszi lehetővé hasonlóságok és különbségek azonosítását a tárgyak és attribútumaik között (Klauer, 1990). A *kritikai gondolkodás* számos gondolkodási képesség együttese, nehezen körülhatárolható képesség, ami inkább egyfajta hozzáállást, szemléletmódot jelent. Lehetővé teszi a reflexiót, a kérdést, hozzájárul a megalapozott érveléshez, következtetéshez, döntéshozatalhoz. A *problémamegoldás* szintén bonyolult gondolkodási képesség. A problémáknak számos típusa van (Molnár, 2006). A fizikatanításban a területspecifikus problémák fordulnak elő, mint például az összetett, elsőre nem átlátható, szemantikailag gazdag problémák, amelyek megoldásához rendszerezni kell a különböző forrásból származó információkat, esetleg újabb információk keresésére is szükség van. Ezek a komplex problémák még bonyolultabbak, ha rosszul definiáltak és tartalmaznak időben változó információkat.

A magasabb rendű gondolkodási képességek fejlesztésére is sok lehetőség nyílik a fizikatanítás során (Radnóti, 2017). Az analógiás gondolkodás rendszerint megjelenik az új jelenségek megismerésekor, bevezetésekor. A fizika jellegzetes munkamódszere a *modellalkotás*, mely az analógia egyik fajtája. Ide tartozik egy-egy jelenség vizsgálata, magyarázata során a lényeges momentumok kiválasztása, a lényegtelennek ítélt elhanyagolása, illetve a pontosabb leírásoknál a fokozatos

figyelembevétel. Például a mozgások vizsgálatakor számtalan esetben hanyagoljuk el első közelítésben a súrlódást, közegellenállást.

A fizikatananyaghoz kapcsolódva lehetőség adódik a *kritikai gondolkodás* fejlesztésére is. Ilyen például az energia felhasználásával, előállításával kapcsolatos kérdések köre. A fizika és a többi természettudomány sem önállóan létezik, hanem társadalmi közegbe ágyazottan. Gondoljunk például arra, hogy a globális felmelegedés, a géntechnológia, az atomerőművek alkalmazása stb. nemcsak műszaki, tudományos kérdéseket, hanem nagy tömegeket, illetve az emberiséget érintő társadalmi és etikai problémákat is felvet. Az új szemléletű természettudományos oktatásban, amely minden leendő állampolgárnak és nem csak a természettudományok területén tovább tanuló diákoknak szól, a fő cél a *társadalmi összefüggésekben értelmezett tudomány* megismertetése. A tanulás során ezért fontos szerepet kap az információk keresése, szelektálása, értékelése, a bizonyítékokra alapozott érvek gyűjtése és felhasználása, a különböző szempontok figyelembevétel és értékelése a következtetések levonásánál, problémák megoldásakor. Ezekben a tanulási helyzetekben a kritikai gondolkodás, a problémamegoldás és a kommunikációs készségek egyaránt fejlődnek.

## TERMÉSZETTUDOMÁNYOS GONDOLKODÁS

A természettudományos gondolkodást a gondolkodás specifikus típusaként értelmezhetjük. Olyan mentális folyamatok összességét értjük alatta, amelyeket a természettudományos tartalmakról való gondolkodás, a tudományos problémákkal való foglalkozás vagy valamilyen megismerőtevékenység, például vizsgálódás, kísérletezés során használunk (Kuhn, 2002; Dunbar & Fugelsang, 2005), illetve amik ahhoz szükségesek, hogy tapasztalataink és tudásunk alapján következtetéseket alkossunk vagy döntéseket hozzunk egy probléma kapcsán (Zimmerman, 2007).

A természettudományos gondolkodás magában foglalja a gondolkodás alacsonyabb és magasabb rendű formáit. Ezáltal válik lehetővé az absztrakt tartalmak, szimbólumok kezelése, a tapasztalatok, megfigyelések értelmezése, kapcsolatok keresése és értelmezése különböző változók között, ok-okozati viszonyok feltárása, következtetések levonása. A természettudományos gondolkodás részeként tekintjük a kutatási készségeket (*inquiry skills*), melyeket a tudományos megismerés lépéseiben használunk (Kind, 2013). Ide tartozik például a probléma azonosítása, a kutatási kérdés megfogalmazása, hipotézisek generálása és ellenőrzése, kísérletek tervezése, a releváns változók azonosítása, manipulálása és kontrollja, adatok gyűjtése, elemzése, értékelése, valamint következtetés megfogalmazása. Fejlesztjük módszereit a fizikában a következő alfejezetben tárgyaljuk.

## A KUTATÁSI KÉSZSÉGEK ÉS A KUTATÁSI SZEMLÉLET FEJLESZTÉSE A FIZIKAÓRÁKON

A kutatási készségek fejlesztése a fizika tantárgy tanulása során elsősorban az empirikus vizsgálatokhoz, a kísérletezéshez köthető, bár nem kizárólagosan, hiszen nem lehet minden témakört kísérletesen feldolgozni a tanórákon, ezért mutatunk egyéb lehetőségeket is. A fizikai megismerés a tanórákon nemcsak egyszerűen a kísérletek elvégzését jelenti recept alapján, hanem a tanulók bevonását a teljes megismerési folyamatba. Ez történhet tudománytörténeti folyamat tanulmányozása során, feladatok megoldásakor vagy új tudományos eredmény feldolgozásakor is.

Több országban elterjedt gyakorlat, napjaink szakmódszertani fejlesztéseinek egyik meghatározó eleme a kutatásalapú természettudomány-tanítás (*Inquiry-based Science Education* – IBSE) (Korom & Z. Orosz, 2020). A lényege, hogy a kutatás, vizsgálódás képezi a természettudományi tudás elsajátításának alapját, irányítja a tanulói tevékenységek megszervezésének és kiválasztásának alapelveit (Nagy, 2010). A kutatásalapú tanulás (*Inquiry-based Learning* – IBL) lehetővé teszi, hogy a tanulók átéljék a tudásalkotás folyamatait, minél jobban lássák az ismeretszerzés teljes menetét, legyenek annak aktív részesei. A kutatásalapú tanulás esetében a tananyag feldolgozásának menete a következő (Nagy, 2010; Nagy, Korom, Pásztor, Veres, & B. Németh, 2015; Korom & Nagy, 2016b):

- problémák keresése, azonosítása;
- kérdések megfogalmazása a probléma kapcsán;
- a kérdések közül a kutatásra érdemes kérdések kiválasztása;
- hipotézisek megfogalmazása;
- vizsgálat tervezése a hipotézisek ellenőrzésére;
- a kísérleti elrendezés kialakítása, a vizsgálat menetének, eszközeinek megadása;
- a vizsgálat kivitelezése, adatok gyűjtése, rögzítése;
- az adatok elemzése, értelmezése;
- az eredmények és a hipotézisek összevetése, következtetések megfogalmazása;
- a kutatás eredményeinek kommunikálása, reflektálás a kutatási folyamatra.

A célkitűzés az, hogy a diákok a fizika tanulása során minél több példa kapcsán lássák a megismerési folyamat lépéseit. Ezt értjük kutatási szemléletű tanítás alatt (Radnóti & Adorjáné Farkas, 2015). Azonban ez a módszer nem egyszerűsíthető le arra, hogy a diákok minél többet kísérletezzenek. A kísérletezés fontossága a fizika tudomány empirikus jellegéből adódik. A fő célkitűzés a megismerési folyamatnak mint algoritmusnak a végigkövetése, a diákok gondolkodásának fejlesztése. Ezért lényeges, hogy a diákok ne kész receptek alapján dolgozzanak, hanem biztosítsuk számukra, hogy egy-egy lépést önállóan is megtegyenek.

A kutatásalapú tanuláshoz három fokozata van: a strukturált, az irányított és a nyitott kutatás (Tafoya, Sunal, & Knecht, 1980). A *strukturált* kutatásnál a tanár jelöli ki a problémát, a kutatási kérdést, megadja a hipotézist és az elvégzendő kísérlet lépéseit, a diákok dolga csupán a vizsgálat végrehajtása, az adatok, tapasztalatok rögzítése, esetleg a következtetés megfogalmazása. Az *irányított* vagy *vezetett* kutatásnál a kísérlet megtervezését, az eszközök, anyagok kiválasztását is a diákok végzik. A *nyitott* kutatásnál pedig az összes lépést, akár a probléma feltárását, körül határolását és a kutatási kérdés megfogalmazását is. A strukturált kutatástól fokozatosan célszerű haladni a nyitott kutatás felé, akár külön is lehet egy-egy lépést gyakoroltatni. A kutatási készségek, mint minden készség, hosszú idő alatt fejlődnek. Sok-sok tanulási szituáció, tényleges kutatási tapasztalat, illetve mások által végzett kutatás elemzése, értelmezése szükséges hozzá.<sup>1</sup>

A tanár a kutatásalapú tanulásban a tanulási folyamat segítője. Nem készen adja az információkat, inkább kérdéseivel segíti a tanulási folyamatot, és igyekszik rávezetni a megoldásra a tanulókat a megoldás közlése helyett. Gyakran előfordul az is, hogy a tanulók gondolkodása tévútra megy. Ilyenkor a tanár segít abban, hogy a tanuló megtalálja a helyes megoldást. Ez a helyzet egyben lehetőséget is kínál a különböző elképzelések megvitatására, és segít a diákoknak felismerni, hogy a hibából is sokat lehet tanulni.

A kutatási szemlélet megismerése és alkalmazása a fizika tanulása során minden diák számára fontos, és nem csak azoknak, akik természettudományos területen szeretnének továbbtanulni. A kutatási szemléletmód, a tudományos megismerési algoritmus fegyelmezett gondolkodásmódot kínál, ami elősegíti, hogy a diákok a későbbiek során képesek legyenek eligazodni a világban, felelős döntést hozni a saját életükben, mérlegelve az érveket, ellenérveket, elkülönítve a megbízható eredményeket, bizonyítékokat az áltudományos babonáktól.

A következő alfejezetekben bemutatjuk, hogy miként lehet a kutatási szemléletet érvényesíteni a fizika-oktatás több területén, az empirikus vizsgálatok, a tudománytörténet tanulmányozása, valamint a feladatok, problémák megoldása során (7. ábra).



7. ábra A kutatási szemlélet fejlesztési lehetőségei

<sup>1</sup> Az Iskolakultúra folyóirat 2016/3. tematikus száma több példát is mutat a kutatásalapú tanulás megvalósítására a természettudományos nevelésben. <http://epa.oszk.hu/00000/00011/00203/pdf/>



## TANULÓI KÍSÉRLETEK

A fizikatananyag feldolgozása során számos kísérlet bemutatására van lehetőség. Ezek célja többféle lehet, például egy jelenség megismertetése, demonstrálása vagy egy törvény működésének igazolása. A tananyaghoz kapcsolódó megszokott kísérletek a fizikai fogalmak, összefüggések tanításán túl felhasználhatók a kutatási készségek fejlesztésére, a kutatási szemlélet alakítására is. A kötetben példákat mutatunk erre néhány kísérletes témakörben. Nem új kísérleteket találtunk ki, hanem elsősorban a meglévőket dolgoztuk fel újszerű módon, kutatásalapú szemlélettel. Erre törekedtünk a közel 300 hetedik évfolyamos tanuló bevonásával zajlott kísérleti és kontrollcsoportos oktatási kísérletünkben is, amelyben egy teljes témakört, a hőtant dolgozta fel több tanár kolléga a kísérleti csoport osztályaiban kutatási szemlélettel (Radnóti & Hasznosi, 2019; Radnóti & Hasznosi, 2020).

A kísérletek leírásánál (l. 2. fejezet) utalunk arra, hogy a tanulók részéről milyen előzetes tudásra számíthatunk ahhoz, hogy eredményesen el tudják végezni a vizsgálatot. Felsoroljuk, hogy milyen eszközökre van szükség, helyenként röviden vázoljuk az elméleti háttérrel is. Bemutatunk egy lehetséges megoldást, mérési táblázatot, de természetesen más megoldások is alkalmazhatók, illetve a diákok is kitalálhatnak másféléket. Ezek helyességét az adott szituációban kell mérlegelni.

A kutatásalapú kísérletes feladatok megfogalmazásakor arra törekedtünk, hogy minél inkább bevonjuk a tanulókat a teljes megismerési folyamatba, ezért szándékosan nem „kész recepteket” írtunk, azaz nem strukturált kutatást várunk a diákoktól. Sőt, több esetben a vizsgálandó kérdés megfogalmazását is a tanulóktól várjuk, természetesen tanári támogatással, megbeszéléssel. Fontos gondolkodásfejlesztő elem a kérdezés, a kérdésfeltevés, majd annak alapján a hipotézisalkotás, és arra építve a vizsgálat megtervezése (pl. mit mivel, hogyan fognak mérni), a kísérlet végrehajtása, az adatok rögzítése, elemzése, értékelése. A kutatási kérdés megfogalmazásának kérése kiváló lehetőséget ad arra, hogy a tanulók összegyűjtsék és átgondolják, az adott problémával, témával kapcsolatos ismereteiket. A hipotézisalkotás nemcsak a meglévő ismeretek alkalmazását igényli, hanem annak átlátását is, hogy mi történhet az adott kísérlet, vizsgálat során, milyen kimenetek lehetségesek.

A megfigyelést, a mérést, az adatgyűjtést és az adatok rögzítését is tanulni kell. Ezért lényeges, hogy mindezeket először beszéljük meg a tanulókkal, és ne adjuk meg előre például a mérési adatok rögzítéséhez szükséges táblázatot. Gondolják át, hogy miként lenne célszerű a táblázatot megalkotni, milyen tényezőket vizsgálunk, milyen adatokat mérünk. Lehetőség szerint a jegyzőkönyvek szerkeze-

tét is önállóan alkossák meg a diákok. Emeljék ki a végső következtetést, adjanak összegzést a vizsgálatról.

Természetesen az első vizsgálatok, mérések alkalmával nagyon sok tanári segítségre, főként rávezető kérdésekre és az egyes lépések közös megvitatására van szükség. Az eredményes munka feltétele, hogy a tanulók tisztában legyenek néhány alapvető kutatásmódszertani ismerettel (pl. a tudományos vizsgálat jellemzői; a kutatási kérdés, hipotézis, függő változó, független változó, konstans, kísérleti elrendezés, mérés, mérőeszköz, mérési hiba, adat, tapasztalat, következtetés, jegyzőkönyv fogalma). A fizikában gyakoriak a mérőkísérletek, ezeknél érdemes tisztázni néhány további dolgot is. Például, hogy az adott mérés esetében milyen pontosan tudunk, és milyen pontosan érdemes egy mennyiséget megmérni; mennyire pontosan lehet, és mennyire pontosan érdemes megadni az egyes számított mennyiségeket; hány tizedesjegyig célszerű számolni; mi lehet a mérési hibák oka; hogyan lehet megbecsülni, illetve csökkenteni a mérési hibát. Érdemes azt is megbeszélni, hogy ha többször végeznek el egy-egy mérést, akkor nem teljesen azonos eredményeket kapnak, és épp a hibák kiküszöbölése érdekében kell egy adott elrendezésben több mérést végezni. Továbbá azt is tisztázni kell, hogy több jellemző vizsgálata esetében egyszerre csak egyet változtassanak, a többit tartsák állandó értéken. Mindezeket fokozatosan, az egyes feladatokon keresztül tudják elsajátítani a diákok. Különösen akkor, ha a vizsgálatok alatt, illetve a vizsgálatokat követően is szó esik arról, hogy mit miért tesznek, tettek, illetve milyen hibákat vétettek, mit csinálnának legközelebb másként.

Fokozatosan érdemes haladni a strukturált feladatoktól az irányított kutatási feladatokon keresztül a nyitott kutatás irányába. A célkitűzés az, hogy a tanulók minél önállóbbá váljanak, de azt szem előtt kell tartanunk, hogy a teljesen önállóan megvalósított nyitott kutatás fejlett kutatási készségeket igényel, és elsősorban a középiskolai fakultációs vagy tehetséggondozó foglalkozásokon reális.

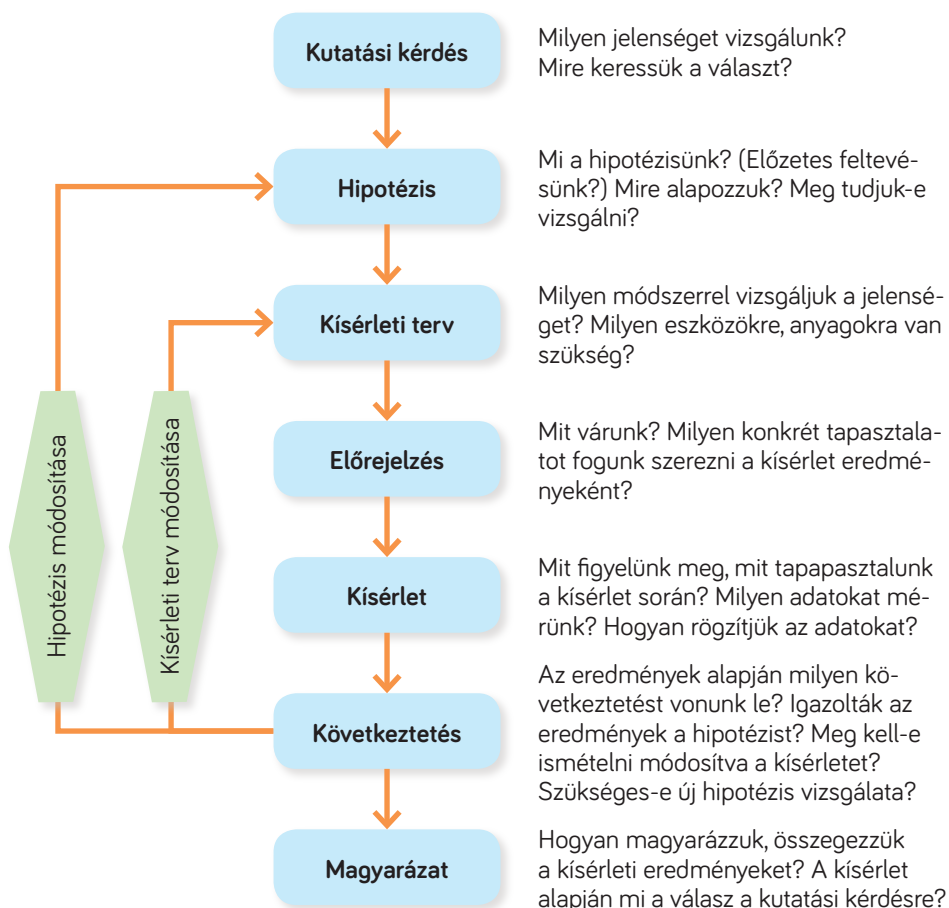
Fontosnak tartjuk azt is, hogy a diákok a hagyományos kísérletezés eszközei mellett minél gyakrabban alkalmazzák a vizsgálatok, mérések során a különböző IKT-eszközöket. Több mérés leírásánál javasoljuk, hogy készítsenek fényképeket, videofelvételeket, melyeket a kiértékeléshez, az adatok pontosabb leolvasásához is felhasználhatnak. Javasunk továbbá internetes keresési feladatokat is az egyes témákban való elmélyedéshez, a szélesebb körű tájékozódáshoz, a differenciált fejlesztéshez. Az elkészült fényképek, videofelvételek elhelyezhetők akár egy közös elektronikus felületen, melyekből válogatva az adott tananyagrészt összefoglalásakor is fel lehet használni elemeket.

A kísérlet eredményeinek bemutatásához a diákok készíthetnek prezentációt is. Több esetben javasoljuk, hogy egy-egy témakör feldolgozása differenciált csoportmunka keretében valósuljon meg. A különböző tényezőktől való függést (pl. milyen tényezőktől függ, illetve nem függ a súrlódási erő, vagy az elektromágnes emelőereje stb.) más-más csoport vizsgálhatja, melyről beszámolnak társaiknak. Ez a módszer kicsit hasonlatos ahhoz, ahogyan egy kutatócsoport vizsgál egy témakört, és az abban részt vevő kisebb csoportok az egyes altémák felelősei.

Amennyiben grafikont készítenek a tanulók, azt lehetőleg számítógépes program segítségével tegyék. Gondolják át a tengelyeken lévő mértékegységeket, a tengelyek feliratozását, és minden ábrának, grafikonnak adjanak címet. Próbáljanak meg függvényeket illeszteni, és az illeszkedés jóságát vizsgálni az  $R^2$  segítségével. Fontos, hogy a tanulók ne egyszerűen „képleteket” lássanak ezekben, melyekbe „be lehet helyettesíteni”, hanem felismerjék, hogy a természet leírására a fizikai mennyiségek között függvénykapcsolatokat fogalmazunk meg.

A kísérletek megvalósításának menetét mutatja be a 8. ábra. Ennek alapján a diákok számára a következő, általános instrukciókat lehet adni:

- Fogalmazzatok meg saját szavaitokkal a vizsgálandó problémát, majd alkossátok meg a kutatási kérdést, hogy mire szeretnétek választ kapni!
- Az eddigi ismereteitek alapján fogalmazzatok meg a hipotéziseket, és írjátok le! A hipotézis egy előzetes feltevés, melyet meg lehet cáfolni, illetve be lehet bizonyítani. Figyeljete arra, hogy a hipotézisnek kísérletileg vizsgálhatónak kell lennie!
- A következő lépés a kísérlet megtervezése. Gondoljátok át, hogy milyen tényezőt vizsgáltok, vagy milyen mennyiséget fogtok mérni, és hogyan! Milyen körülményeket változtatnátok meg? A kísérlet során ügyeljete arra, hogy egyszerre csak egy körülményt változtassatok meg! Milyen lépések fogják követni egymást a kísérlet megvalósítása során?
- Gyűjtsétek össze azokat az eszközöket, amelyekre szükség lesz!
- Rajzoljátok le/fényképezzétek le a tervezett kísérleti összeállítást!
- Konkretizáljátok a hipotézist, és fogalmazzatok meg, hogy milyen tapasztalatra számítok, ha elvégzitek a kísérletet! Ez sok esetben egy feltételes mondatban fogalmazható meg: Például *ha* növeljük a víz hőmérsékletét, *akkor* egyre több cukrot tudunk feloldani benne.
- Végezzétek el a kísérletet!
- Rögzítsétek a tapasztalatokat! Készítsetek fényképeket, esetleg videofelvételeket a kísérlet eredményéről!



8. ábra A kísérletek lebonyolítása kutatási szemléletben

- Amennyiben mérés is történt, foglaljátok táblázatba a mérési eredményeket! Ehhez alkossátok meg a táblázatot! FigyeljeteK arra, hogy áttekinthető formában tartalmazza az összes átlalatok mért adatot!
- Elemeztétek az adatokat, majd vonjátok le a következtetést!
- Vessétek össze az adatok alapján levonható következtetéseiteket az előzetesen felállított hipotézisetekkel! Igazolta a kísérlet eredménye a hipotéziseteket?
- Ne ijedjeteK meg, ha a kísérlet nem igazolja a hipotézist, hanem próbáljátok megvizsgálni, hogy mi lehet ennek az oka! Lehet, hogy nem végeztétek el jól a mérést. Próbáljátok meg még egyszer! Ha ez a mérés sem igazolja az előze-

tes feltételezést, akkor lehet, hogy nem volt helyes a kísérleti terv, vagy nem volt jó a hipotézis. Gondoljátok át újra!

- Amennyiben az adatok igazolták a hipotézist, végezzetek kontrollvizsgálatot, ismételjétek meg a kísérletet!
- Összegezzétek a kísérlet eredményét!
- Vezessetek jegyzőkönyvet a kísérletről! A jegyzőkönyvnek olyannak kell lennie, hogy annak alapján reprodukálni lehessen a vizsgálatot. A tudományosság egyik fontos kritériuma a megismételhetőség (mások is ugyanazokra az eredményekre, és az azokból ugyanolyan következtetésekre jussanak).
- Értékeljétek a munkátokat, tekintsetek vissza a vizsgálatok során felmerült nehézségekre és azok megoldására!

A fizikatananyag kapcsán több példán keresztül megmutathatjuk, hogy a tudomány történetében többnyire a 8. ábrán vázolt lépések szerint történt a tudományos megismerés, bár minden esetben voltak sajátos, egyedi vonások is. Az ábrán két visszacsatolási kört ábrázoltunk, de valójában a tudományos kutatások során folyamatos a visszacsatolás; a kísérleti körülmények vagy a hipotézisek módosítása, illetve újabb és újabb kutatási kérdések megfogalmazása. A 2. és 3. fejezetben több példát is mutatunk erre. Például:

- GALILEI speciális lejtőt készített a változó mozgás vizsgálatára, melynek tetejéről golyókat engedett le különböző hajlásszögek alatt.
- OHM is speciális berendezést konstruált a különböző huzalokon átfolyó áramerősség és a feszültségviszonyok vizsgálatára. Eredetei adatait és számításait is ismerjük.
- Az első nukleáris reaktort 1942-ben építették meg annak vizsgálatára, hogy a nukleáris láncreakció megvalósítható-e.
- Napjainkban a Higgs-bozon és a gravitációs hullámok létének kimutatására építettek speciális és óriási berendezést. Ezekben az esetekben is meg kellett határozni azt, hogy konkrétan milyen észlelet jelenti a tényleges felfedezést.

## FELADATMEGOLDÁS

A fizikatanítás egyik jellegzetes eleme a feladatmegoldás. A tanárok és a tanulók munkáját nagyon sok különböző feladatgyűjtemény segíti. Ezekben zömmel rövid szöveges leírások szerepelnek valamilyen szituációról, melyet különböző fizikai mennyiségekkel lehet kvantitatív módon jellemezni, és ezek segítségével néhány további mennyiség kiszámítható. Általában erre irányul a kérdés. De miért is oldatunk meg a diákokkal fizikai feladatokat?

Úgy gondoljuk, hogy a feladatmegoldás nem célja, hanem az egyik eszköze a fizika-tanításnak, hogy bevezesse a diákokat a fizikai gondolkodásba. A feladatmegoldás elősegíti a megoldási algoritmusok begyakorlását, továbbá ezen algoritmusoknak az életszerű problémákhoz való hozzárendelését (Nahalka & Poór, 2002). Szerepe van a fizikai fogalmak kialakításában, megerősítheti, elmélyítheti azok lényeges jegyeit. A fogalomalkítás szempontjából különös szerepük van a kvalitatív feladatoknak, amelyek bizonyos fajta nyomozásnak is felfoghatók, hiszen nincs lehetőség sablon vagy rutin alapján eljutni a megoldáshoz, mint sok esetben az egyszerű képletbe való behelyettesítést igénylő kvantitatív feladatoknál. A kvantitatív, tehát numerikus számolást igénylő feladatra is úgy célszerű tekinteni, mintha az egy kvalitatív feladat lenne. Fontos először elemezni a jelenséget, megérteni a lényegét, feltárni az okokat, összefüggéseket, majd a matematika mint eszköz felhasználásával formába önteni a fizikai mennyiségek közötti kapcsolatot (Holics, 1970).

A fizikaórán sor kerülhet problémák megoldására is. Ennek része a problémafelvetés, a számítás, melyhez szükséges az adatok szervezése (pl. ábrázolása oszlop-diagramként), az adatok értelmezése (akár saját mérésből, akár mások méréseiből származnak), a számítások eredményei alapján magyarázat megalkotása és kritikai észrevételek megfogalmazása. A gondolkodásfejlesztés szempontjából fontos szerepe van a tanulói előrejelzésnek, illetve hipotézisalkotásnak, melyekre a feladatmegoldás esetében is számtalan lehetőség van. Ezzel mintegy érzékeltetni lehet az ismeretszerzés nehézkes útját, továbbá így lesz ténylegesen a tanuló sajátja a megszerzett új ismeret. Érdemes a probléma megoldása végén, mintegy lezárásként visszatekinteni a folyamatra, reflektálni, honnan hová jutottunk, hogyan gondolkodtunk előtte és utána, milyen új ismeretet szereztünk, és az mire lesz jó nekünk.

Azt gondoljuk, hogy szükség van újszerű feladatok kitűzésére, melyek a fizika tantárgy modernizálásához is hozzá tudnak járulni. A korábbi szakmódszertani szakirodalomban szokás volt szigorú követelményként szabni a feladatok lehető legvilágosabb, lehető legerősebb, legegyszerűbb megfogalmazását, az adatok teljes körű megadását és a fölösleges adatok közlésének elkerülését. Mi nem szeretnénk ilyen követelményeket megfogalmazni. A valós élet problémái nem ilyenek, s ha csak lecsupaszított feladatokkal foglalkozunk, akkor nem tudjuk modellezni azokat a szituációkat, amelyekbe tanítványaink majd ténylegesen kerülnek, kerülhetnek a mindennapi helyzetekben. A valós kontextusokban felmerülő problémák általában nem jól strukturáltak, nem kellően explicitek, az adatok köre nem teljes, továbbá számos irreleváns, a végleges megoldásban majd szükségtelennek bizonyuló információ is adott.

A teendők az, hogy a gyerekeket támogassuk, segítsük abban, hogy időnként maguk fogalmazzák meg, pontosítsák a problémákat, szűrjék ki az irreleváns információkat, s adjanak meg értelmes adatokat, ha éppen arra van szükség. A gyere-

kek többségét foglalkoztató problémák feldolgozásával elérhetjük, hogy növekszik a tantárgy iránti érdeklődés. A megfelelően kiválasztott feladatok megoldása közben nemcsak a fizikai ismeretek megértéséhez jutnak közelebb a gyerekek, de a munka során olyan módszereket is elsajátíthatnak, amelyeknek más területeken is hasznát veszik felnőtt életük során. Megismerhetnek problémaelemző módszereket, megtanulhatják, hogyan lehet egy-egy döntés következményeit előre átgondolni, elemezni.

Az utóbbi években, évtizedben az írásbeli fizikaérettségin megjelentek a fentiekben említetteken kívül másféle feladatok is. A korábbi évekkel összehasonlítva már nemcsak a rövid, és sok esetben unalmas szövegű számításhoz kapcsolódó feladatokat kell a diákoknak megoldaniuk, hanem feleletválasztós kérdésekre is válaszolniuk kell, továbbá különböző mérési eredményeket, grafikonokat értelmezni és/vagy készíteni, továbbá erőteljesen helyet kap a fizikatudomány története is, például az emelt szintű esszéfeladatokban.

A kötet feladatai illeszkednek ezekhez az elvárásokhoz. A számítógép alkalmazási lehetőségei közül az Excel programcsomag néhány elemének alkalmazására, elsősorban a függvényillesztések felhasználására készítettünk új feladatokat, illetve alakítottunk át régieket. Ennek fontos oka az, hogy ezzel be lehet mutatni a diákok számára azt, hogy a fizikai törvényszerűségek nem egyszerűen megtanulandó képletek, hanem függvénykapcsolatok. Több példát is bemutatunk tudományos szöveg feldolgozására. A szövegek többfélék, lehetnek tudománytörténetiek vagy a közelmúltban megjelent olyan friss hírek, amelyeknek van fizikai vonatkozásuk. Ezekhez is tartozhatnak számítást igénylő feladatok. Ilyen lehet például a történeti írásokban szereplő eredeti mérési adatok újszerű feldolgozása, ábrázolása, de jó lehetőséget kínálnak a kutatási leírások a tudományos megismerési folyamat tanulmányozására is (Nagy, Horváth & Radnóti, 2013). Ezek révén is fejleszthetők a tanulóknak a tudományos kutatás módszereire (procedurális), valamint a tudomány természetére (episztemikus) vonatkozó ismeretei. A kötettel egyben biztatni is szeretnénk a kollégákat hasonló jellegű feladatok kitalálására, történeti, illetve egyéb fizikai témájú szövegek keresésére, a régi feladatok új szemléletű átalakítására és az Excel program használatára. A javasolt feladatok jelentős részét saját gyakorlatunkban kipróbáltuk. Nemcsak a közoktatásban, hanem az első éves egyetemisták számára tartott úgynevezett felzárkóztató foglalkozásokon, melyek célja a hallgatók hiányosságainak pótlása. Tehát szintjük szerint a bemutatott feladatok középiskolainak tekinthetők.

A fizika és a matematika közti kapcsolat megértésére, annak gyakorlására kiváló eszköz a napjainkban sokrétűen alkalmazott Excel programcsomag. Ezt sok kolléga használja mérési eredmények feldolgozásához (Simon, 2014). Az ajánlott grafi-

konokat az informatika iránt érdeklődő, az Excelt ismerő diákok is el tudják készíteni, illetve azokat a legkülönbözőbb módon ki tudják egészíteni. Ennek célszerű teret adni. Fontos, hogy a tanulók képesek legyenek az Excelben illesztett függvény paramétereit hozzákapcsolni a fizikában tanult törvényekhez, akár a saját mérési adataikat ábrázolták, akár máshonnan származó adatokkal dolgoztak. Ezekre mutatunk konkrét példákat (a mozgások esetében az út-idő függvényből a gyorsulásra, a gravitációs törvény esetében például a bolygók keringési adataiból a központi csillag tömegére lehet következtetni). A 7–8. évfolyamra járó tanulók számára elsősorban oszlopdiagramok készítését ajánljuk, melyek segítségével különböző adatsorokat lehet látványosan megjeleníteni. A számítógép használata a diákok számára motiváló lehet. Továbbá fontos pályorientációs feladat is azon diákok kiválasztása, akiknek ez a fajta munkamódszer tetszik, és ezért szeretnének műszaki-természettudományos területen továbbtanulni, majd dolgozni.

A matematika fontos eszköz a fizika számára, de mielőtt alkalmazzuk, különböző meggondolásokat teszünk a vizsgálandó jelenséggel kapcsolatban, milyen mennyiségekkel tudjuk azt leírni, és azok közt milyen összefüggések vannak, majd a számítások elvégzését követően vissza kell csatolni a kiindulási problémára. Ez kétszeres transzfert kíván! A probléma megértését követően átfogalmazzuk azt a matematika nyelvére, majd utána elemezni kell a kapott eredményt, hogy az reális-e, ami ismét egy transzfer, de fordított irányú. Ez egyben fontos gondolkodás-fejlesztési lehetőség is.

A fentiek fontosak abból a szempontból is, hogy a diákok számára nyilvánvalóvá válik, hogy a természet leírásához, a jelenségek megértéséhez fontos módszer a kvantifikálás, adatok gyűjtése, adatsorok közti kapcsolatok keresése, adatbázisok kezelése. Az adatok, amelyeket ki kell értékelni, származhatnak saját mérésekből, de máshonnan is. Ezzel a tanulók betekintést kaphatnak napjaink empirikus kutatómódszertanába is.

A természettudományos szemlélet alakítása szempontjából érdemes még a különböző úton nyert és használatos összefüggések főbb típusait megkülönböztetni, melyekre az adott feladatok megoldásának elemzésekor részletesebben is kitérünk.

- *Törvények:* a természetben létező jelenségek leírására alkotott modellek jellemzéséhez bevezetett fogalmakhoz rendelhető kvantitatív értékek közt függvénykapcsolatokat alkothatunk meg, például négyzetes úttörvény, gravitációs erőttörvény. Ezeknek mint modelleknek van érvényességi határuk, illetve jól körülhatárolt esetekben alkalmazhatók.
- *Félempirikus formulák:* a leíráshoz alkalmazott függvénykapcsolatot kifejező egyes tagok matematikai formájához tartozik fizikai magyarázat, de az állandók



a kísérleti adatokból származnak. Ilyen például az atommagok kötési energiájának becsléséhez használható, úgynevezett cseppmodell.

- *Empirikus formulák:* a mérési adatokra próbálunk függvényt illeszteni. Például a párolgáshő függése a hőmérséklettől. A jelenséghez természetesen tartozik kvalitatív magyarázat, jelen esetben például a részecskék energiája magasabb hőmérsékleten nagyobb, ezért kevesebb energiára van szükség az elszakadáshoz. Továbbá a kritikus hőmérséklet felé közeledve ez tart a nullához. De hogy ez éppen az  $1/3$ -ik hatvánnyal írható le, az már nem következik elméletekből, azokból nem vezethető le.

## TUDOMÁNYTÖRTÉNETI PÉLDÁK

A történeti és a kutatási szemlélet összekapcsolásaként fontosnak tartjuk a kötelező tananyag feldolgozása során azt is megmutatni, hogy miként viszonyul a természettudós egy problémához, hogyan kezdi el azt vizsgálni, miként fogalmazza meg a kérdést, milyen egyszerűsítő feltételeket vezet be, illetve milyen előzményei és hatásai vannak a kutatásának.

A tudománytörténeti vonatkozások tárgyalásának további oka, hogy a fizika érettségi követelményrendszerben is szerepelnek tudománytörténeti elemek. A dokumentumban jónéhány olyan tudós neve megtalálható, akiről a diákoknak tudni kell, hogy milyen korszakban élt, és melyek a főbb tudományos eredményei. Ahhoz, hogy ezek az ismeretek ne csak száraz, memorizálandó adatok legyenek a diákok számára, célszerű hozzájuk közelebb hozni az egyes kutatókat és felfedezéseiket, megmutatva a korszak kérdéseit, a vizsgálat módszereit, jelentőségét, fogadtatását. Erre találhatók példák a kötet 3. fejezetében.

A feldolgozandó téma szempontjából ezért célszerű megvizsgálni a felismerés korszakában felmerült

- tudományos kérdéseket, azok megközelítésmódját, különféle elképzeléseit;
- tesztelhető hipotézisek megfogalmazását, például a korábban már megismert jelenségek magyarázatai alapján, analógia révén;
- a hipotézisek alátámasztására tervezett vizsgálatokat, kísérleteket;
- végül a következtetések leírását, esetleg eredeti idézetek segítségével.

Érdekes a következőkkel is foglalkozni (Radnóti, 2009):

- A felfedezés/felismerés milyen társadalmi környezetben jött létre, milyen addig létező elméleteket, gondolkodási rendszereket, szemléletmódot váltott fel?
- Milyen előzményei voltak?
- Hogyan, milyen módszerrel történt a felfedezés?

- Mi volt az újszerűsége?
- Hogyan fogadta a tudományos közösség? Elég meggyőzőnek tartották-e?
- Milyen nehézségek merültek fel a kutatás során?
- Milyen további kutatásokat indukált, majd pedig annak következményeképp milyen változások jöttek létre a tudományban, illetve az emberiség életében?

A tudománytörténet kutatási szemléletben való feldolgozásnak számos haszna van. Közelebb hozza a diákokat egy-egy korszakhoz, személyesebbé válik számukra az adott tényyszerű ismeret. Segít felismerni az összefüggéseket, összekapcsolni a történelmet és a természettudományokat. Formálja a diákok tudását, nézeteit a tudomány természetéről, működéséről, a tudományos ismeretszerzés menetéről. Valódi példákon keresztül ismerik meg, hogyan születnek a tudományos eredmények, hogyan vitatja meg azokat a szakmai közösség, és fogadja, értékeli a társadalom.

## IRODALOM

- Adey, P., & Csapó, B. (2012). A természettudományos gondolkodás fejlesztése és értékelése. In B. Csapó & G. Szabó (Eds.), *Tartalmi keretek a természettudomány diagnosztikus értékeléséhez* (pp. 17–58). Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó.  
[http://pedagogus.edia.hu/sites/default/files/termesztudomany\\_tartalmi\\_keretek.pdf](http://pedagogus.edia.hu/sites/default/files/termesztudomany_tartalmi_keretek.pdf)
- B. Németh, M., & Korom, E. (2012). A természettudományos műveltség és az alkalmazható tudás értékelése. In B. Csapó & G. Szabó (Eds.), *Tartalmi keretek a természettudomány diagnosztikus értékeléséhez* (pp. 59–92). Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó.  
[http://pedagogus.edia.hu/sites/default/files/termesztudomany\\_tartalmi\\_keretek.pdf](http://pedagogus.edia.hu/sites/default/files/termesztudomany_tartalmi_keretek.pdf)
- Bernal, J. D. (1977). *A fizika fejlődése Einsteinig*. Budapest: Gondolat – Kossuth Könyvkiadó.
- Curie, P., & Curie, Mme P. (1898). Sur une substance nouvelle radio-active, contenue dans la pechblende. [Az uránszurokérc egyik radioaktív anyagáról.] *Comptes rendus*, 127, 175.
- Csapó, B. (2002). Az új tudás képződésének eszközei: az induktív gondolkodás. In B. Csapó (Ed.), *Az iskolai tudás*. (2nd ed.) (pp. 261–290). Budapest: Osiris Kiadó.  
[http://publicatio.bibl.u-szeged.hu/11931/1/CsBeno\\_Iskolai\\_tudas\\_2002.pdf](http://publicatio.bibl.u-szeged.hu/11931/1/CsBeno_Iskolai_tudas_2002.pdf)
- Csapó, B. (2004). Természettudományos nevelés: híd a tudomány és a nevelés között. In B. Csapó (Ed.), *Tudás és iskola* (pp. 7–28). Budapest: Műszaki Könyvkiadó.  
[https://www.researchgate.net/publication/316253656\\_Tudas\\_es\\_iskola](https://www.researchgate.net/publication/316253656_Tudas_es_iskola)
- Csapó, B., & Szabó, G. (Eds.). (2012). *Tartalmi keretek a természettudomány diagnosztikus értékeléséhez*. Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó.  
[http://pedagogus.edia.hu/sites/default/files/termesztudomany\\_tartalmi\\_keretek.pdf](http://pedagogus.edia.hu/sites/default/files/termesztudomany_tartalmi_keretek.pdf)
- Csapó, B., Korom, E., & Molnár, Gy. (Eds.). (2015). *A természettudományi tudás online diagnosztikus értékelésének tartalmi keretei*. Budapest: Oktatókutatató és Fejlesztő Intézet.  
[http://pedagogus.edia.hu/sites/default/files/42702\\_termesztudomany\\_teljes.pdf](http://pedagogus.edia.hu/sites/default/files/42702_termesztudomany_teljes.pdf)
- Driver, R. (1983). *The Pupil as Scientist?* Philadelphia: Open University Press, Milton Keynes.
- Dunbar, K., & Fugelsang, J. (2005). Scientific thinking and reasoning. In K. J. Holyoak & R. G. Morrison (Eds.), *The Cambridge handbook of thinking and reasoning* (pp. 705–725). Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, Sao Paulo: Cambridge University Press.
- Galilei, G. (1638/1986). *Matematikai érvelések és bizonyítások két új tudományág, a mechanika és a mozgások köréből*. Budapest: Európa Könyvkiadó. Fordította: Dávid Gábor. Jegyzetek: Gazda István. Utószó: Vekerdi László.
- Glaserfeld, E. (1995). *Radical Constructivism. A Way of Knowing and Learning*. London: The Palmer Press.
- Hobson, A. (1998). Mindenki számára „releváns” fizika. *Fizikai Szemle*, 48(5), 177–180.  
<http://www.epa.oszk.hu/00300/00342/00101/hobson.html>
- Holics, L. (1970). Feladatmegoldások és fizikai tartalom. *Fizikai Szemle*, 20(9), 275–278.
- Inhelder, B., & Piaget, J. (1958). *The growth of logical thinking*. London: Routledge Kegan Paul.
- Johnson-Laird, P. N. (2006). *How we reason*. Oxford: Oxford University Press.
- Kind, P. M. (2013). Establishing Assessment Scales Using a Novel Disciplinary Rationale for Scientific Reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(5), 530–560.

- Klauer, K. J. (1990). A process theory of inductive reasoning tested by the teaching of domain-specific thinking strategies. *European Journal of Psychology of Education*, 5(2), 191–206.
- Korom, E., & Szabó, G. (2012). A természettudomány tanításának és felmérésének diszciplináris és tantervi szempontjai. In B. Csapó & G. Szabó (Eds.), *Tartalmi keretek a természettudomány diagnosztikus értékeléséhez* (pp. 93–150). Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó.  
[http://pedagogus.edia.hu/sites/default/files/termesztudomany\\_tartalmi\\_keretek.pdf](http://pedagogus.edia.hu/sites/default/files/termesztudomany_tartalmi_keretek.pdf)
- Korom, E., (2005). *Fogalmi fejlődés és fogalmi váltás*. Budapest: Műszaki Könyvkiadó.
- Korom, E., & Nagy, L. (2016a). A természettudományos gondolkodás fejlődése és fejlesztése az iskola kezdő szakaszában I. *Tanító*, 54(3), 24–27.
- Korom, E., & Nagy, L. (2016b). A természettudományos gondolkodás fejlődése és fejlesztése az iskola kezdő szakaszában II: A kutatási készségek fejlesztése. *Tanító*, 54(6), 29–32.
- Korom, E., & Z. Orosz, G. (2020). A természettudományos nevelés fő kutatási irányzatai. *Magyar Tudomány*, 181(1), 34–46. [https://mersz.hu/dokumentum/matud\\_\\_725](https://mersz.hu/dokumentum/matud__725)
- Korom, E., Molnár, Gy., & Csapó, B. (2015). A természettudományi online diagnosztikus mérések tartalmi kereteinek elméleti háttere. In B. Csapó, E. Korom, & Gy. Molnár (Eds.), *A természettudományi tudás online diagnosztikus értékelésének tartalmi keretei* (pp. 13–29). Budapest: Oktatókutatató és Fejlesztő Intézet.  
[http://pedagogus.edia.hu/sites/default/files/42702\\_termesztudomany\\_teljes.pdf](http://pedagogus.edia.hu/sites/default/files/42702_termesztudomany_teljes.pdf)
- Kuhn, D. (2002). What is scientific thinking and how does it develop? In U. Goswami (Ed.), *Handbook of childhood cognitive development* (pp. 371–393). Oxford: Blackwell.
- Molnár, Gy. (2006). *Tudástranszfer és komplex problémamegoldás*. Budapest: Műszaki Kiadó.
- Nagy, L. (2006). *Az analógias gondolkodás fejlesztése*. Budapest: Műszaki Könyvkiadó.
- Nagy, L. (2010). A kutatásalapú tanulás/tanítás ('inquiry-based learning/teaching', IBL) és a természettudományok tanítása. *Iskolakultúra*, 20(12), 31–51.  
<http://epa.oszk.hu/00000/00011/00153/pdf/2010-12.pdf>
- Nagy, L., Korom, E., Pásztor, A., Veres, G., & B. Németh, M. (2015). A természettudományos gondolkodás online diagnosztikus értékelése. In B. Csapó, E. Korom, & Gy. Molnár (Eds.), *A természettudományi tudás online diagnosztikus értékelésének tartalmi keretei* (pp. 35–116). Budapest: Oktatókutatató és Fejlesztő Intézet.  
[http://pedagogus.edia.hu/sites/default/files/42702\\_termesztudomany\\_teljes.pdf](http://pedagogus.edia.hu/sites/default/files/42702_termesztudomany_teljes.pdf)
- Nagy, M., Horváth, G., & Radnóti, K. (2013). Kutatási szöveg tanórai feldolgozása. *Iskolakultúra*, 23(9), 96–108. <http://www.iskolakultura.hu/index.php/iskolakultura/article/view/21424/21214>
- Nagy-Czirok, L., & Horváth, G. (2019). Tanulók fizikával kapcsolatos tévhitei. *Fizikai Szemle*, 69(2), 63–70. [https://arago.elte.hu/sites/default/files/Tevhitek\\_FSz.pdf](https://arago.elte.hu/sites/default/files/Tevhitek_FSz.pdf)
- Nahalka, I. (2002a). *Hogyan alakul ki a tudás a gyerekekben? Konstruktivizmus és pedagógia*. Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó.
- Nahalka, I. (2002b). A gyermektudomány elemei a fizikában. In K. Radnóti & I. Nahalka (Eds.), *A fizikatanítás pedagógiája* (pp. 188–206). Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó.  
[http://members.iif.hu/rad8012/fizika/fizikatanitas\\_pedagogiaja.pdf](http://members.iif.hu/rad8012/fizika/fizikatanitas_pedagogiaja.pdf)

- Nahalka, I. (2014). A természettudományos nevelés pedagógiai háttere. In K. Radnóti (Ed.), *A természettudomány tanítása. Szak módszertani kézikönyv és tankönyv* (pp. 19–68). Szeged: Mozaik Kiadó.
- Nahalka, I., & Poór, I. (2002). Problémák és feladatok megoldása a fizika tanulása során. In K. Radnóti & I. Nahalka (Eds.), *A fizikatanítás pedagógiája* (pp. 159–187). Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó. [http://members.iif.hu/rad8012/fizika/fizikatanitas\\_pedagogiaja.pdf](http://members.iif.hu/rad8012/fizika/fizikatanitas_pedagogiaja.pdf)
- Oktatási Hivatal (2019). PISA 2018 Összefoglaló jelentés. [https://www.oktatas.hu/pub\\_bin/dload/kozoktatasi/nemzetkozi\\_meresek/pisa/PISA2018\\_v6.pdf](https://www.oktatas.hu/pub_bin/dload/kozoktatasi/nemzetkozi_meresek/pisa/PISA2018_v6.pdf)
- Radnóti, K. (2002). A fizikatanítás tudományelméleti háttere. In K. Radnóti & I. Nahalka (Eds.), *A fizikatanítás pedagógiája* (pp. 100–118). Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó. [http://members.iif.hu/rad8012/fizika/fizikatanitas\\_pedagogiaja.pdf](http://members.iif.hu/rad8012/fizika/fizikatanitas_pedagogiaja.pdf)
- Radnóti, K. (2009). Galilei szerepe a mai modern világképünk kialakulásában II. *Fizikai Szemle*, 59(2), 59–64. [http://www.atomcsill.elte.hu/Cikkek/FizSzle/RK\\_Galilei\\_2.pdf](http://www.atomcsill.elte.hu/Cikkek/FizSzle/RK_Galilei_2.pdf)
- Radnóti, K. (Ed.). (2014). *A természettudomány tanítása. Szak módszertani kézikönyv és tankönyv*. Szeged: Mozaik Kiadó.
- Radnóti, K. (2016). Az európai természettudomány előfutárai – az iszlám aranykor tudósa. *Fizikai Szemle*, 66(7–8), 254–265. [http://www.epa.oszk.hu/00300/00342/00308/pdf/EPA00342\\_fizikai\\_szemle\\_2016\\_07-08\\_254-265.pdf](http://www.epa.oszk.hu/00300/00342/00308/pdf/EPA00342_fizikai_szemle_2016_07-08_254-265.pdf)
- Radnóti, K. (2017). *Óráról órára. Fizikaórák megjegyzésekkel ellátva*. Szeged: Szegedi Tudományegyetem Bölcsészettudományi Kar, Neveléstudományi Intézet. <http://edu.u-szeged.hu/ttkcs/sites/default/files/Orarol-orara-r.pdf>
- Radnóti, K., & Adorjáné Farkas (2013). Az iskolai természettudományos oktatás szemlélete. *Iskolakultúra*, 23(9), 49–62. <http://www.iskolakultura.hu/index.php/iskolakultura/article/view/21420>
- Radnóti, K., & Adorjáné Farkas, M. (2015). A kutatás alapú tanulás lehetőségei a fizikaórán. *Fizikai Szemle*, 65(6), 198–204. <http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1506/FizSzem-201506.pdf>
- Radnóti, K., & Hasznosi, T. (2019). A kutatásalapú tanulás/tanítás lehetőségei a fizikaoktatásban. In A. Fehérvári & K. Széll (Eds.), *Új kutatások a neveléstudományokban / 2018. Kutatási sokszínűség, oktatási gyakorlat és együttműködések* (pp. 78–97). Budapest: ELTE PPK, L'Harmattan Kiadó.
- Radnóti, K., & Hasznosi, T. (2020). A diákok mint kis tudósok. A Hótan témakör kutatásalapú feldolgozása az általános iskolában. *Fizikai Szemle*, 70(6), 209–215.
- Radnóti, K., & Nahalka, I. (Eds.). (2002). *A fizikatanítás pedagógiája*. Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó. [http://members.iif.hu/rad8012/fizika/fizikatanitas\\_pedagogiaja.pdf](http://members.iif.hu/rad8012/fizika/fizikatanitas_pedagogiaja.pdf)
- Radnóti, K., & Pipek, J. (2009). A fizikatanítás eredményessége a közoktatásban. *Fizikai Szemle*, 59(3), 107–113. [http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz0903/RadnotiK\\_PipekJ.pdf](http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz0903/RadnotiK_PipekJ.pdf)
- Radnóti, K., & Wagner, É. (1999). A természettudományos nevelés gyakorlati problémái. *Magyar Pedagógia*, 99(3), 323–342. [http://digit.biblu-szeged.hu/00400/00415/00188/mp\\_1999\\_003\\_6232\\_323-342.pdf](http://digit.biblu-szeged.hu/00400/00415/00188/mp_1999_003_6232_323-342.pdf)
- Ropolyi, L., & Szegedi, P. (Eds.). (2000). *A tudományos gondolkodás története. Előadások a természettudományok és a matematika történetéből az ókortól a XIX. századig*. Budapest: ELTE. [http://www.eltereader.hu/media/2014/04/A\\_tudomanyos\\_gondolkodas\\_tortenete\\_READER.pdf](http://www.eltereader.hu/media/2014/04/A_tudomanyos_gondolkodas_tortenete_READER.pdf)



Simon, P. (2014). Az Euler-féle szám vizsgálata. *Fizika Szemle*, 64(3), 90–95.  
<http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1403/SimonPeter.pdf>

Tafoya E., Sunal, D., & Knecht, P. (1980). Assessing inquiry potential: a tool for curriculum decision makers. *School Science and Mathematics*, 80, 43–48.

Zimmerman, C. (2007). The development of scientific thinking skills in elementary and middle school. *Developmental Review*, 27(2), 172–223.